1.Технологічний процес роботи залізниці.

Технологічний процес – це система організації роботи, що забезпечує якнайкраще використання технічних засобів. Вона заснована на науковій організації праці і науковому визначенні технічних норм на окремі операції та послідовності їх виконання.

Технологічний процес заснований на наступних принципах:

- паралельне виконання максимального числа операцій по всіх елементах переробки вагонів і обробки поїздів;

- безперервність послідовно виконуваних операцій з мінімальними міжопераційними інтервалами;

- потокове пересування поїздів і вагонів по найкоротших і найбільш раціональних маршрутам;

- ефективне використання технічних засобів станції;

- взаємодія між прилеглими вагонами і парками станції на основі відповідності пропускної і переробляючої спроможностей взаємодіючих елементів;

- наукова організація виробництва, що забезпечує підвищення продуктивності праці, зниження собівартості продукції і поліпшення умов праці працівників станції;

- технічно обґрунтовані норми часу знаходження вагонів на станції і часі на виконання виробничих операцій.

У технологічному процесі приводяться технічна і експлуатаційна характеристики станції, відбиваються об'єм і характер роботи, порядок отримання і використання інформації про підхід поїздів і вантажів для оперативного планування роботи, передачі інформації про поїзди, що відправляються, і вантажі для інших станцій. Технологічний процес визначає систему оперативного керівництва рухом поїздів і маневрової роботи на станції, порядок обробки місцевих вагонів, обслуговування під'їзних шляхів, а також особливості роботи в зимових умовах.

Важливим питанням при розробці технологічного процесу є встановлення раціональної спеціалізації шляхів і парків, що забезпечує якнайкраще використання шляхів, створення умов для безпечного руху поїздів і маневрових складів. На сортувальних станціях виділяються окремі парки шляхів для прийому поїздів, накопичення вагонів по окремих призначеннях, відправлення поїздів.

Технологічний процес розробляється на основі графіка руху поїздів, плану формування, об'єму роботи станції, технічного оснащення і інших початкових даних, визначуваних умовами роботи конкретної станції. Розробляє його начальник станції за участю начальників локомотивного і вагонного депо, начальників дистанції шляху, сигналізації і зв'язку, дистанції електропостачання, механізованої дистанції вантажно-вивантажувальних робіт.

2. Графік руху поїздів.

2.1.Роль графіка руху в перевізному процесі.

Графік руху поїздів є організуючою і технологічною основою роботи всіх підрозділів залізниць, планом всієї експлуатаційної роботи. Строгий рух поїздів по графіку забезпечується правильною організацією роботи і точним виконанням технологічного процесу роботи станцій, депо, тягових підстанцій, пунктів технічного обслуговування і інших підрозділів, пов'язаних з рухом поїздів. Графік руху поїздів - це відображення процесу руху поїзда в декартовій системі координат, де вісь X - це вісь часу, а вісь Y - вісь відстані. Рух поїзда між роздільними пунктами виражається функцією виду $Y=kX+b$, поїзд прийнятий за матеріальну точку.

Графік руху поїздів будують заздалегідь розробленим планом з точною

вказівкою часу відправлення, пропуску і прибуття поїздів по всіх станцій, дає повну картину руху поїздів по залізничних ділянках і напрямам, позволяє погоджувати час спільної роботи підрозділів залізничних шляхів. Так, для станцій він встановлює, до якого часу мають бути закінчені формування кожного поїзда і всі операції по підготовці його до відправлення,

для депо — до якого часу має бути виданий локомотив для кожного поїзда, для дистанцій шляху - у який час можна здійснювати ремонт шляху, не затримуючи рух поїздів, для пунктів технічного огляду — порядок їх роботи залежно від характеру прибуття поїздів та ін.

У графіку закладені нормативи роботи всіх ланок залізничного господарства. У перегінних часах ходу, наприклад, враховано: потужність локомотива, швидкості, що допускаються станом шляху, напруга в контактній мережі, тривалість стоянок поїздів; відбиті норми часу на технічний огляд і безвідчіпний ремонт вагонів, зміну локомотивів і локомотивних бригад та інші операції з поїздами на станціях; у станційних і міжпоїздових інтервалах враховано використання засобів автоматики, телемеханіки, зв'язку і блокування і тому подібне. Графік руху поїздів є технологічною основою всього перевізного процесу. Виконати графік можна тільки за умови, що всі працівники, пов'язані з перевізним процесом, будуть строго дотримуватися встановлених і закладених в нього технологічних норм.

Відповідно до ПТЕ графік руху поїздів повинен забезпечувати:

- Задоволення потреб в перевезеннях пасажирів і вантажів
- Безпека руху поїздів
- Ефективне використання пропускної та провізної спроможності ділянок і переробляючої здатності станцій
- Раціональне використання рухомого складу
- Дотримання встановленої тривалості безперервної роботи локомотивних бригад
- Можливість виробництва робіт по поточному змісту і ремонту шляхів, споруд, пристроїв СЦБ, зв'язку та електропостачання.

Виконання плану перевезень пасажирів і вантажів забезпечується закладкою в графік руху достатнього числа поїздів з урахуванням нерівномірності перевезень.

Для забезпечення безпечного руху поїздів необхідно строго дотримувати вимоги ПТЕ про порядок їх прийому, відправлення і проходження ще на стадії розробки графіка руху.

Найвигідніше використання рухомого складу забезпечує такою прокладкою поїздів на графіку, яка дозволяє реалізувати максимально можливу в даних умовах

дільничну швидкість встановленням норм маси поїздів з урахуванням найкращого використання потужності локомотивів. Графіки руху поїздів по суміжних ділянках погоджують один з одним так, щоб без затримок пропускати транзитні поїзди при мінімальному простої локомотивів в очікуванні поїздів.

Узгодження роботи станцій і прилеглих ділянок, найкраще використання їх пропускної спроможності досягаються рівномірним розташуванням поїздів на графіку з урахуванням пропускної здатності станційної горловини і прийомо-відправних шляхів; розробкою графіків місцевої роботи ділянок,що передбачають раціональну організацію руху збірних і вивізних поїздів.

При складанні графіка враховують встановлений час безперервної роботи локомотивних і поїзних бригад, яка, як правило, не повинна перевищувати 8 год., а в деяких випадках 12 год.

Можливість ведення робіт по поточному змісту шляху, будівель, пристроїв СЦБ, зв'язку та електропостачання забезпечується особливим розташуванням поїздів, а також виділенням у графіку рухи спеціальних зон, вільних від пропуску поїздів, так званих «вікон».

Графік руху складають 1 раз на рік з коректуванням на зимовий період і вводять одночасно по всій мережі залізниць (як правило, в кінці травня) наказом міністра сполучення шляхів .

Рис.2.1. Приклад графіка руху поїздів однопутної ділянки с автоблокіровкою

Складають графік руху на спеціальній масштабній сітці. Відстані між роздільними пунктами відкладаються по вертикалі, а час — по горизонталі. Горизонтальними лініями позначають роздільні пункти (їх осі), а вертикальними час (жирними — годинні періоди, штриховими — півгодинні, тонкими — десятихвилинні інтервали). Рух поїздів на графіці зображають прямими похилими лініями, умовно приймаючи, що в межах перегону швидкість їх рівномірна (використовується перегінний час ходу, що спеціально обчислюється залежно від профілю шляху, типу поїзда, напряму ходу, досвіду роботи провідних машиністів і т. д. — за даними тягових розрахунків). Час руху (прибуття або відправлення) поїздом кожного роздільного пункту визначається перетином лінії ходу поїзда з віссю відповідного роздільного пункту і наголошується цифрою понад цілий десяток в тупому кутку, утвореному лінією ходу поїзда і віссю роздільного пункту. На перегонах прилеглим до станцій, що обмежують диспетчерський круг, над лінією ходу поїзда ставлять його номер. Поїзда нумерують залежно від напряму руху і категорії перевезень. Лінії ходу непарних поїздів наносять зверху вниз, парних — від низу до верху. На основі графіка руху поїздів складаються розклад руху поїздів, де вказують час прибуття, відправлення і пройшло поїздів по кожному роздільному пункту.

Кожен поїзд в графіці руху має свій номер, який указує його категорію, вид руху і напрям руху. На кожній ділянці виділяються парний і непарний напрями проходження поїздів. Відповідно непарні номери мають поїзди, які рухаються в непарному напрямі, і навпаки. Як правило, непарну нумерацію привласнюють поїздам, які рухаються зі сходу на захід і з півночі на південь. Поїздам кожного роду руху (пасажирське і вантажне) привласнюють певну групу номерів, усередині якої встановлена додаткова градація по категоріях. Періодично МПС переглядає і коректує нумерацію поїздів, що є єдиною для всієї мережі залізниць.

Рис.2. 2.Класифікація графіків руху поїздів.

Загальні відомості. Розробка графіка руху поїздів основується на використанні певних нормативів — так званих елементів графіка. До них відносяться:

- перегінні часи ходу поїздів, як «чисті», так і з урахуванням додаткового часу на розгін і уповільнення при зупинках;

- нормативи продовження стоянок поїздів на станціях; станційні інтервали, тобто інтервали між поїздами при прийомі, відправленні і руху поїздів через станції в тих випадках, коли виконання вказаних операцій не може здійснюватися одночасно;

- інтервали між поїздами в пакеті (міжпоїздові інтервали); норми знаходження локомотивів на станціях основного і оборотного депо.

Елементи графіка впливають на основні показники експлуатаційної діяльності залізниць (безпеку руху, пропускну спроможність, дільничну швидкість, оборот локомотивів і вагонів).

При розробці графіка потрібно також враховувати норми на виконання основних операцій технологічного процесу станцій по прибуттю, розформуванню і відправленню поїздів для забезпечення нормальної роботи.

2.2. Початкові дані для розробки графіка руху поїздів

Початкові дані для розробки графіка руху поїздів:

- перегінні часи ходу поїздів, як “чисті ”, так і з урахуванням додаткового часу на розгін та уповільнення при зупинках;
- станційні інтервали, тобто інтервали між поїздами при прийомі, відправленні і руху поїздів через станції в тих випадках, коли виконання вказаних операцій не може здійснюватися одночасно
- нормативи тривалості стоянок поїздів на проміжних станціях для виконання технічних і комерційних операцій

- нормативи обороту локомотивів в депо для виконання технічного обслуговування
- а також інтервали між поїздами, наступними в пакеті (міжпоїздові інтервали)

Єдиний графік руху поїздів по всій мережі залізниць СРСР був введений літом 1935 року. Графік почав складатися щорічно на літній період, з коректуванням на зиму.

Часи ходу встановлюють для кожного перегону в парному і непарному напрямах окремо для пасажирських, вантажних поїздів і локомотивів, які одиночно рухаються, а також для пасажирських і вантажних поїздів, які мають різні норми маси і швидкості. Перегінні часи ходу розраховують між осями роздільних пунктів або прийомо-відправних парків, якщо у останніх вони не збігаються з осями станцій, для міжпостових перегонів — між осями прохідних сигналів, а при їх відсутності — по осях будівель блокпостів.

Перегінний час ходу залежить від ходової швидкості поїзда. Його, як і масу поїзда, встановлюють тяговими розрахунками, результати яких перевіряють за допомогою динамометричного вагону, спеціальні прилади якого дозволяють встановити режим роботи локомотива, і потім коректують за даними роботи машиністів. Часи ходу розраховують окремо для прослідування роздільних пунктів із зупинками і без зупинок. Різниця між цими часом ходу складає час на розгін і уповільнення.

3. Перегінний час ходу

3.1.Необхідність тягових розрахунків

Тягові розрахунки є прикладною частиною теорії тяги поїздів і дозволяють вирішувати багаточисельні практичні завдання, що виникають при проектуванні і експлуатації залізниць. До найважливіших завдань належать:

- визначення маси вантажних складів при заданому типові локомотиву відповідно до профілю, швидкості руху і часу ходу по ділянках і окремих перегонах;
- визначення необхідних параметрів локомотиву для забезпечення заданої пропускної і провізної спроможності ділянки;
- складання графіка руху поїздів – основного документа роботи залізничного транспорту;
- вибір найбільш раціонального розміщення станцій, зупинних і роздільних пунктів при проектуванні залізниць;
- визначення параметрів системи енергопостачання при електрифікації залізниці: розміщення тягових підстанцій і визначення їх потужності, розрахунок тягової мережі і інше.
- розробки графіка руху поїздів, дослідження і проектування залізниць, локомотивів і поїздів, розрахунків в області економічної ефективності перевезень.

Вирішення названих завдань служить підставою для вибору типів локомотивів для конкретних ділянок залізниці, для складання графіків руху поїздів, вибору плечей звороту локомотивів, визначення пропускної і провізної спроможності ділянки залізниці, розрахунків по розміщенню зупинних пунктів, тягових підстанцій, складів палива, пунктів екіпіровки, розміщенню локомотивного парку і т.д. Нарешті, для ухвалення рішень про запуск у виробництво нових типів локомотивів, вагонів, вагонного для мотора рухливого складу, про споруду і характеристику нових залізничних ліній.

В даний час тягові розрахунки виконуються переважно на ЕОМ по наявних програмах в обчислювальних центрах доріг і на спеціалізованих кафедрах науково-навчальних закладах.

Для математичного формулювання завдань необхідно розуміти фізичне єство явищ, супроводжуючих процес руху поїзда, і знати основні прийоми і способи тягових розрахунків. На рух поїзда по перегону впливає безліч

фізичних і механічних чинників, які загалом можна розділити на три групи: характеристики дороги, рухливого складу (локомотиву і складу) і довкілля. Все, або велика частина цих чинників повинна використовуватися в математичній моделі руху поїзда.

Розрахунок руху поїзда по перегону є одній з ключових проблем тягових розрахунків. Вони необхідні для складання графіка руху поїздів – основного документа роботи залізничного транспорту; вибору найбільш раціонального розміщення станцій, зупинних і роздільних пунктів при проектуванні залізниць; розробки графіка руху поїздів, проектуванні залізниць, локомотивів і поїздів, розрахунків в області економічної ефективності перевезень. Тому дуже важливим є завдання здобуття найбільш точного вирішення диференціального рівняння руху поїзда по перегону.

Диференціальне рівняння руху поїзда отримуємо, скориставшись теоремою з теоретичної механіки: зміна кінетичній енергії системи дорівнює сумі робіт внутрішніх і зовнішніх сил при деякому переміщенні її. Дія сил на потяг показана на рис.3.1.

Рис. 3.1. Сили, що діють на потяг

Робота внутрішніх сил в даному випадку дорівнює нулю, оскільки поїзд представляється матеріальною крапкою. Тоді

де K – функція кінетичної енергії поїзда;

dS - приріст дороги, прохідний поїздом за час dt;

F_K - сила тяги;

W – сила природного опору руху поїзда;

B_T - сила штучного опору руху поїзда (гальмівна сила) ;

G – гравітаційна сила від дії сил ваги поїзда (на спусках направлена у бік руху, на підйомах – в протилежну сторону).

Перетворивши рівняння (3.1) отримаємо диференціальне рівняння руху поїзда в найзагальнішому випадку:

де

$f_к = \frac{F_к}{m_п}$ - питома сила тяги поїзда, Н/т;

$w = \frac{W}{m_п}$ - питомий опір руху поїзда, Н/т;

$b_т = \frac{B_т}{m_п}$ - питома гальмівна сила поїзда, Н/т;

i – крутість ухилу в проміле (‰) з врахуванням його знаку.

Завдання полягає в тому, аби знайти вирішення цього рівняння впродовж всієї тягової ділянки з максимальною точністю. При цьому зазвичай задані характеристики складу, локомотиву, профіль дороги, якщо це представляється можливим, то задаються також показники і характеристики довкілля, які впливають на рух поїзда .

Окреме завдання полягає в тому, аби знайти прискорюючу силу, у тому числі питомий опір руху поїзда, гальмівну силу і, сама, мабуть, важка частина тягових розрахунків – відшукання питомої сили тяги поїзда, її апроксимація і найбільш оптимальний вибір апроксимуючої функції. Але, вважатимемо, що ці дані вже отримані і приступимо до аналізу.

Для зручності позначимо $f_A = f_к - w - ig$ – прискорююча сила і перетворимо рівняння (3.2) до вигляду

По структурі це – звичайне диференціальне рівняння 1-го порядку із змінними, що розділяються

яке вирішується простою інтеграцією

Проте в даному випадку представлений інтеграл, який, по-перше, дає незліченну безліч рішень, і, по-друге, цей інтеграл неможливо вирішити в стандартній формі оскільки повного розділення змінних S і V в рівності не відбувається, оскільки в загальному випадку прискорююча сила поїзда f_A є функцією не лише швидкості V, але і пройденої дороги S із-за наявності доданку g_i, оскільки ухил i визначається на кожній ділянці пройденої дороги .

3.2. Методи вирішення диференціального рівняння.

При інтеграції диференціального рівняння руху поїзда рішення шукають у формі завдання Коші (завдання з початковими умовами, якими тут є початкова швидкість руху і початок відліку пройденої дороги). У числі методів інтеграції диференціального рівняння руху поїзди, які знайшли поширення на практиці, слід зазначити аналітичні, графічні, чисельні і так звані машинні.

Графічні методи рішення зводяться до геометричних побудов діаграм швидкості руху V(S) і часу ходу t(S) поїзда по перегону на основі діаграми $f_A(V,i)$ в певних масштабах. Ці методи довгий час були чи не основними при тягових розрахунках через такі якості, як простота, наочність, хоча точність їх порівняно невелика, та і залежить від майстерності і старанності виконавців.

В основі машинних методів лежить та обставина, що диференціальні рівняння, що описують рух поїзда і роботу деяких електричних ланцюгів з активними і пасивними елементами, аналогічні. Ці методи знайшли вживання до появи електронних обчислювальних машин і зараз в тягових розрахунках не застосовуються .

Чисельні методи рішення засновані на використанні спеціальних алгоритмів для інтеграції звичайних диференціальних рівнянь, наприклад, таких широко відомих, як методи Ейлера, Адамса, Рунге-Кутта, Мілна, Крилова з багаточисельними модифікаціями. Вони полягають в заміні нелінійного диференціального рівняння лінійним диференціальним. Вони використовуються для тягових розрахунків на ЕОМ. Проте їх точність залежить від вибраного методу рішення і кроку зміни швидкості руху. Точніші чисельні методи, такі як метод Рунге-Кутта, Адамса вимагають більшого об'єму обчислення.

Аналітичні методи зручні тим, що на основі певних відомих початкових даних дозволяють отримати рішення в символьній формі, тобто у вигляді кінцевої рівності або формул.

В основі таких методів лежить представлення прискорюючої сили f_A у вигляді аналітичної функції швидкості V і пройденої дороги S (або приведеного ухилу і-елементу профілю дороги, на якій в даний момент знаходиться поїзд), тобто залежностями $f_A(V,S)$ або $f_A(V,i)$.

Графічні і машинні методи широко використовувалися до появи ЕОМ. Зараз в практиці тягових розрахунків використовують чисельні і аналітичні методи, тому що їх можна реалізувати на ЕОМ, за рахунок чого дістаємо можливість сильно скоротити час рішення поставленої задачі. Точність рішення цими методами залежить від вибраного кроку, що дозволяє, міняючи крок за (кроку або часу) швидкістю отримати рішення з необхідною точністю.

Найбільше поширення на практиці в тягових розрахунках отримав аналітичний метод кусочно-лінійної апроксимації. Цей метод дозволяє отримати рішення задачі не в цілому, а по ділянках із застосуванням кусочно-лінійної апроксимації функції f_A.

Суть кусочно-лінійної апроксимації полягає в тому, аби весь діапазон можливих швидкостей руху поїзда розбити на інтервали ΔV, що дозволить добитися найбільшої точності при розрахунках. Величини інтервалів можуть бути однаковими, а краще – різними, такими, що відображають характерні точки залежності $f_A(V, i)$ (зокрема пропонується міняти крок зміни швидкості залежно від самої величини швидкості і характеристик локомотива/шляху).

Згідно ПТР (правил тягових розрахунків максимальний крок швидкості 5-10 км/ч). Найбільш оптимальним є вибір кроку в межах 0,01-0,1 км/ч. Вважається, що в межах кожного інтервалу ΔV значення f_A постійно і дорівнює деякому середньому $f_{Aj}^{ср}$. Фактично це означає, що дійсні залежності f_A від швидкості замінюємо ламаною лінією (рис. 3.2). Чим

менше інтервали ΔV, тим ближче ламана лінія до дійсної залежності і тим точніше буде розрахунок .

Рівняння, що описує рух поїзда в j-м інтервалі швидкостей, набирає вигляду

де S_j і S_{j+1} - відмітка дороги, пройденої поїздом відповідно на початку і в кінці j-му інтервалу зміни швидкості;

V_j і V_{j+1} - відповідно початкова і кінцева швидкість j-му інтервалу;

$f_{Aj}^{ср}$ - середнє значення питомої прискорюючої сили на j-м інтервалі швидкостей, яке визначається при середньому значенні швидкості на цьому інтервалі $V_j^{ср} = 0{,}5(V_j + V_{j+1})$.

Рис. 3.2. Заміна дійсній залежності f_A усередненим значенням на ділянці

Вирішення рівняння (3.6)

Для визначення часу ходу поїзда скористаємося вихідним диференціальним рівнянням (3.2), приведемо його до вигляду із змінними, що розділяються

і вирішимо, використовуючи метод кусочно-лінійної апроксимації

де t_j і t_{j+1} – відмітка часу ходу поїзда відповідно на початку і в кінці j-го інтервалу зміни швидкості.

Таким чином, диференціальне рівняння руху поїзда інтегрується аналітично, але по ділянках .

Проаналізуємо параметри, які враховуватимуться при розрахунку тягових характеристик.

4.Характеристика шляху.

4.1. План і профіль перегону.

Шлях на рейковому транспорті через різні географічні і економічні чинники не є суцільно прямолінійним і горизонтальним. Вид рейкового

шляху зверху називається планом шляху. План складається з прямолінійних і криволінійних ділянок, або коротко: прямих і кривих.

Пряма характеризується довжиною $S_{ПР}$ і напрямом. Крива характеризується радіусом R, довжиною $S_{КР}$ (або кутом повороту, що представляється зазвичай в градусах) і напрямом повороту: вправо або вліво.

Рис. 4.1. Елементи плану шляху

Між кутом повороту і довжиною кривої одного і того ж радіусу існує зв'язок

Вигляд рейкового шляху збоку називається профілем шляху.

Рис. 4.2. Елементи профілю шляху

Ділянки профілю називаються його елементами. Горизонтальні ділянки називаються майданчики, похилі – ухили. Крапка в місці з'єднання двох сусідніх елементів називається переломом профілю. Чисельно величина ухилу i виражається в промілле (‰) і визначається із співвідношень (див. рис.4.2)

де H_H і H_K - відмітка відповідно почала і кінця елементу, м;

S – довжина елементу, м;

1000 – коефіцієнт перекладу результату в проміле, оскільки проміле означає 1/1000 частина.

Таким чином, кожен елемент профілю характеризується завдовжки і ухилом. Чисельне значення ухилу в промілле указує на підвищення (або пониження) відмітки в метрах на 1 км. шляху. Наприклад, під'їм 8‰ означає, що при проходженні 1 км. шлях підвищується на 8 м.

На підйомах $H_K > H_H$, тому завжди $i > 0$.

На спусках $H_K < H_H$, тому завжди $i < 0$.

На майданчиках $H_K = H_H$, тому завжди $i = 0$.

Це правило знаків буде надалі незмінне дотримуватися і у формулах, і в чисельних значеннях ухилів.

Запис плану і профілю шляху часто проводиться у формі спеціальної таблиці.

Криві можуть бути на різних елементах профілю, а можуть бути і відсутніми. Більш того, на одному елементі можуть розташовуватися декілька кривих різного радіусу.

У реальному шляху між прямими і кривими радіусу R є ще і перехідні криві змінного радіусу. Вони в тягових і гальмівних розрахунках, як правило, враховуються шляхом збільшення довжини відповідною кривою постійного радіусу.

4.2. Аналіз перегону.

Аналіз перегону полягає у визначенні розрахункового (керівного) підйому, швидкісного (інерційного) підйому і контрольного (керівного) спуску.

Розрахунковим підйомом $i_р$ на даному перегоні називається такий, в кінці якого швидкість поїзда досягає мінімального значення зі всіх швидкостей при русі по перегону. Це – один з найбільш крутих і протяжних підйомів, перед входом на який потяг через особливість профілю шляху не може розвинути достатньо високу швидкість.

Швидкісним підйомом $i_{ск}$ називається підйом крутіше розрахункового, подолання якого можливо за рахунок роботи сил тяги локомотива і використання раніше накопиченої кінетичної енергії поїзда. Це – найкрутіший, але порівняно короткий підйом, перед входом на який потяг через особливості профілю шляху може розвинути достатньо високу швидкість.

Контрольний спуск $i_к$ - один з найбільш крутих спусків (завдовжки не менше норми гальмівного шляху), перед входом на який потяг може мати порівняно високу швидкість. Контрольний спуск вибирається для перевірки достатності гальмівних засобів поїзда.

Результати аналізу перегону використовуються в тій або іншій формі при тягових і гальмівних розрахунках.

4.3. Випрямлення профілю шляху.

У тягових і гальмівних розрахунках поїзд зазвичай представляється у вигляді матеріальної крапки, в якій зосереджена вся його маса і до якої приведені всі сили, що діють на нього. При русі такої механічної системи на кожному елементі профілю шляху буде свій розклад сил і характер руху. Реальний поїзд, що володіє певною довжиною, неминуче потрапляє в ситуацію, коли частини його рухаються на елементах з різними ухилами, що приводить до зростання погрішності розрахунку. Щоб кількість таких ситуацій скоротити і тим самим зменшити погрішність розрахунку, проводиться операція випрямлення профілю шляху, суть якої – заміна ряду сусідніх елементів з близькими по величині ухилами одним еквівалентним, а також заміна кривих ділянок шляху рівної довжини прямими з урахуванням підвищеного опору руху на них.

У основу випрямлення профілю шляху покладена рівність енергетичних витрат на рух поїзда по реальному і по випрямленому шляху. Випрямленню не підлягають такі ділянки шляху: початок і кінець перегону, розрахунковий і швидкісний підйоми. До групи елементів профілю шляху, що випрямляється, не повинні входити ділянки з різними знаками ухилів. Елемент з нульовим ухилом (майданчик) може входити як до групи підйомів, так і в групу спусків.

Для наміченої групи елементів профілю випрямлений (еквівалентний) ухил визначається по формулі:

де i_n і S_n - відповідно ухили і довжини елементів, включених в групу для випрямлення.

Потім перевіряється допустимість випрямлення кожного елементу, включеного в групу, по умові

Якщо який-небудь елемент не задовольняє умові (4.4), то роблять нове угрупування елементів.

Додатковий опір руху в кривих на елементах профілю шляху, що випрямляється, замінюють фіктивними підйомами, одночасно вважаючи ці елементи прямими

де S_m – довжина m-го елементу профілю шляху, на якому є криві, м;

S_{KPj} та R_j - відповідно довжини і радіуси кривих, що є на m-том елементі профілю, м;

j - індекс кривої.

Слід зазначити, що операцію заміни опору руху фіктивним підйомом можна проводити як на заданих початкових елементах профілю, так і на еквівалентних, замінюючих групу елементів, що випрямляється.

Остаточний ухил випрямленого елементу профілю за наявності на нім кривих:

Слід відмітити, що значення може бути позитивним, негативним і навіть нульовим, а значення завжди позитивно.

Таким чином, після операції випрямлення профілю шляху і заміни додаткового опору руху в кривих фіктивними підйомами число елементів профілю, їх довжини і ухили відрізняються від спочатку заданих.

У типових методиках розрахунків руху поїзда інформація про перегін, як правило, представляється у вигляді випрямленого профілю шляху.

4.4. Визначення категорії трудності перегону.

Категорія трудності перегону визначається зазвичай за випрямленим профілем шляху. При цьому слід керуватися таблиці. 4.1.

Таблиця 4.1

Класифікація залізниць за трудністю профілю шляху

При розрахунку протяжності ділянок легкого профілю знак ухилу ігнорується, тобто враховуються і спуски, і підйоми, і майданчики.

Іноді категорія трудності, визначена по розрахунковому підйому, не збігається з категорією, визначеною по загальній протяжності легкого профілю. У таких випадках робиться висновок окремо по кожному показнику.

5. Тягова характеристика.

Тяговою характеристикою локомотива називають графічну залежність сили тяги від встановленої швидкості руху при різних режимах енергосилової установки в межах обмежень по надійності, стійкості і безпеці руху.

Сила тяги є дією поїзда (входом), що управляє, швидкість руху — регульованою величиною (виходом), опір руху поїзда — обурюючою дією (входом).

Тягові характеристики локомотивів є статичними , тому що отримані експериментально при рівноважній взаємодії дій, що управляють і обурюючих , і русі з рівномірною швидкістю. Якщо розрахунок швидкості руху поїздів проводиться з використанням тягових характеристик, то перехідні процеси не враховуються.

Для підвищення провізної і пропускної здатності доріг при обмеженій потужності генератора енергії необхідно мати гіперболічну тягову характеристику тепловозів. У такому разі потужність дизеля використовується більш повно при різних швидкостях руху. Графічний вид

тягової характеристики тепловоза визначається типом, параметрами тягової передачі та її обмеженнями.

Таким чином, тягові характеристики локомотивів мають обмеження по ресурсах і по надійності роботи: у тепловозів по дизелю, по тяговій передачі, по зчепленню і конструкційній швидкості; у електровозів — по тягових двигунах, по зчепленню і по конструкційній швидкості.

Є і інші обмеження сили тяги і режимів роботи локомотивів: по нагріванню обмоток електричних машин, по комутації струму, по міцності автозчеплень і так далі. Параметри цих обмежень залежать не тільки від конструкції і характеристик відповідних агрегатів, але і від режимів роботи. Тому їх не можна показати на тягових характеристиках. Граничні величини таких параметрів зупинені нормативами ПТР, а фактичні значення визначаються тяговими розрахунками в конкретних умовах експлуатації.

Тепловози працюють в різних кліматичних і метеорологічних умовах, при яких спостерігаються істотні коливання тиску, температури і вологості атмосферного повітря. Потужність, теплова напруженість дизеля, тягового генератора і тягових електродвигунів залежать від атмосферних умов. Тепловози повинні мати стабільні тягові характеристики в змінних атмосферних умовах роботи.

Простота регулювання сили тяги, швидкості, параметрів енергосилового ланцюга і можливість автоматизації управління рухом поїзда грають важливу роль в підвищенні продуктивності транспорту. Тягова характеристика тепловоза 2ТЭ10Л (рис. 3.6) представляє сімейство кривих, номери яких відповідають позиціям контроллера машиніста (кожна позиція означає певну потужність, що розвивається силовою установкою). Максимальна дотична потужність реалізується на 15-ій позиції контроллера. Наближення тягової характеристики у всьому діапазоні експлуатаційних швидкостей до “ідеальної ” гіперболи здійснюється за рахунок трьох кривих: при повному (ПП) і двох ступенях ослаблення (ОП1 і ОП2) поля збудження

ТЕД. При швидкості руху менше 10 км/год. тягові характеристики мають обмеження, обумовлені обмеженням

Рис. 5.1. Тягова характеристика тепловоза 2ТЭ10Л

максимального струму тягового генератора і відповідно ТЕД. Як бачимо, ці обмеження перевищують обмеження по зчепленню, що дозволяє в необхідних випадках чіпати з місця і розгоняти склади підвищеної маси за рахунок короткочасної подачі піску в зону контакту коліс з рейками, тобто за рахунок підвищення коефіцієнта зчеплення.

6. Розрахунок сил опору.

6.1. Основний і додатковий опори руху конкретних типів одиниць рухомого складу (локомотивів, вагонів) визначаються експериментально в процесі проведення спеціальних досвідчених поїздок. Обробка і узагальнення результатів цих поїздок дозволяє отримати розрахункові формули для визначення опору локомотивів і вагонів.

Повний опір руху поїзда W складається з суми повного основного W_0 і повного додаткового $W_д$ опорів.

У тягових і гальмівних розрахунках повні сили опорів прийнято виражати в ньютонах (Н) .

Величина називається питомим опором поїзда.

Нагадаємо, що маса поїзда $m_п = m_л + m_с$, тобто дорівнює сумі мас локомотива $m_л$ і складу $m_с$.

У тягових і гальмівних розрахунках питомі сили опорів прийнято виражати, як це видно з їх визначення, в ньютонах на тонну маси (Н/т).

Величина називається питомим основним опором поїзда.

Величина називається питомим додатковим опором поїзда.

У свою чергу повний основний опір поїзда W_0 складається з суми повних основних опорів локомотива W_0' і W_0'' складу

Величина називається питомим основним опором локомотива.

Величина називається питомим основним опором складу.

Виходячи з формул (6.3), (6.6) і (6.7), можна записати

Для розрахунків зручніше користуватися питомими показниками, оскільки однією і тією ж формулою можна охопити ширший круг типів

одиниць рухомого складу, що і зроблене в ПТР.

Повний опір руху поїзда можна виразити через питомі опори

6.2. Розрахунок основного опору локомотива.

Локомотив є джерелом сили тяги, створюваною тяговою передачею, що включає різні агрегати (тягові електродвигуни, гідравлічні коробки зміни передач і тому подібне) і передавальні механізми. Тому, кажучи про опір руху локомотива, слід враховувати два режими його роботи: під тягою і без тяги (на неодруженому ходу).

При русі під тягою енергія, що втрачається в тяговій передачі, враховується в ККД локомотива і позначається лише на величині дотичної сили тяги. Опір руху безпосередньо самого локомотива слід враховувати як звичайної одиниці рухомого складу (з від'єднаними передавальними механізмами тягової передачі). Часто такий опір називають “опір локомотива як вози ”.

При русі без тяги вже не передавальні механізми приводять колеса, а навпаки, колеса примушують рухатися, обертатися вузли тягової передачі (хоча і на холостому ходу), на що доводиться витрачати додаткову енергію. Це позначається на збільшенні опору руху локомотива. Часто такий опір називають “опір локомотива як машини ”.

Питомий основний опір локомотива розраховується по формулі

де V – швидкість руху, км/год.

Чисельні значення коефіцієнтів $a_л$, $b_л$ та $c_л$ встановлені ПТР однаковими для всіх типів локомотивів. Величини коефіцієнтів представлені в табл.6.1. Вони залежать тільки від типу шляху (ланковий або безстиковою) і режиму роботи локомотива (тяга або холостий хід). Значення коефіцієнтів приводяться в також в ПТР та у відповідних довідниках.

Коефіцієнти основного питомого опору руху локомотивів. Таблиця 6.1

Для розрахунків, що вимагають підвищеної точності, питомий основний опір руху локомотивів приймають по залежностях, приведених в додатках до ПТР.

Питомий основний опір руху електро- і дизель-поїздів розраховується по формулах, аналогічних. Конкретні значення коефіцієнтів $a_л$, $b_л$ и $c_л$ для цих випадків приводяться в ПТР і у відповідних довідниках.

Тут і в подальшому представлення формул для визначення питомих опорів вибране таким, що дозволяє брати чисельні значення коефіцієнтів безпосередньо з ПТР без яких-небудь перерахунків під систему СІ.

6.3. Розрахунок основного опору вагонів.

Основний опір вагону залежить від його призначення (вантажний, пасажирський), ступеня завантаження (навантажений, порожній), конструкції ходової частини (чотиривісний, шестивісний і так далі), типу буксових підшипників (підшипники ковзання, роликові), а також від типу шляху (ланковий, безстиковий).

Питомий основний опір вагону розраховується по формулі

де V - швидкість руху, *км/ч*;

q_0 – маса вагону брутто, що доводиться на одну вісь, т;

$a_{0в}$, $a_в$, $b_в$ и $c_в$ - коефіцієнти.

Величини коефіцієнтів представлені в таблиці. 6.2. Значення коефіцієнтів приводяться в також в ПТР і у відповідних довідниках. Там же зазвичай даються вантажопідйомність вагону конкретного типу, маса його тари або сума цих величин (маса вагону брутто).

Коефіцієнти основного питомого опору руху вагонів. Таблиця 6.2

Якщо $q_0 \leq 6$ т, то такий вагон вважається порожнім і при розрахунках його питомого основного опору по формулі (6.11) вважають $a_{0в} = 0$ q_0=1.Коефіцієнти, що відносяться до пасажирських вагонів, справедливі для швидкостей руху не більше 160 км/ч. Для випадків високошвидкісного руху використовуються інші залежності.

У теорії тяги поїздів вирішуються два фундаментальні завдання:

1) знайти масу поїзда, яку локомотив відомої серії здатний перевезти на ділянці заданого профілю шляху при дотриманні нормативних параметрів тяги і швидкості руху;

2) для поїзда заданої маси знайти керований рух на заданій тяговій ділянці, який забезпечив би досягнення поставленої мети при дотриманні нормативних і обмежувальних умов.

Моделювання є загальним методологічним прийомом досліджень і вирішення завдань класичної механіки, кібернетики і теорії тяги поїздів, що визначає наступний зв'язок між ними. Їх відмінності визначаються фізичною природою явищ і процесів, призначенням систем, метою їх дослідження, наявністю початкової і поточної інформації, обмежувальними умовами, математичною формалізацією і необхідною точністю прогнозування.

Математична модель руху такої системи є диференціальним рівнянням руху матеріальної крапки; сили задані, не залежать від часу і не являються керованими, рух — природне; на систему діють тільки контактно-механічні зв'язки, що визначають число мір свободи; поведінка системи підпорядкована закону збереження енергії і теоремам класичної механіки.

З сказаного можна добавити, що, перед тим, як приступити до розрахунку руху системи, потрібно чітко встановити цілі, постановку завдання, методи побудови і дослідження моделі руху.

Для розрахунку руху поїзда мають бути задані маса состава, серія локомотива, гальмівні засоби, профіль шляху, розташування станції на лінії. Потрібно визначити механічний рух і параметри стану рухомого складу, який забезпечує досягнення поставленої мети при дотриманні умов безпеки і надійності роботи локомотива.

7. Вирішення гальмівних завдань.

7.1.Гальмівні завдання

Для забезпечення безпеки руху поїздів найважливіше значення має можливість обмеження швидкості руху або зупинки поїзда, що виконується в штатній або екстраординарній ситуації. А це означає, що при необхідності зупинки або обмеження швидкості руху має бути забезпечена ефективність дії гальм поїзда.

Практика експлуатації рухомого складу поставила завдання, пов'язані з гальмуванням поїздів. З одного боку це завдання визначення гальмівних засобів, які можуть забезпечити зниження швидкості руху або повну зупинку поїзда на необхідній відстані. А з іншого боку це завдання визначення відстані, на якій заданий поїзд з відомими гальмівними засобами може зупинитися або понизити швидкість руху до заданого значення. Названі завдання називають гальмівними завданнями. Для вирішення цих завдань можна застосувати різні методи вирішення рівняння руху поїзда.

Умовимося відповідно до під терміном «гальмівний шлях» розуміти відстань, яку проходить поїзд від моменту повороту ручки крана машиніста або стоп-крана в гальмівне положення до повної зупинки поїзда. Після повороту ручки крана машиніста в гальмівне положення проходить якийсь час, перш ніж гальмівні колодки стикнуться з колесами (гальмівними дисками). Через інерційність гальмівної системи, що включає гальмівну магістраль, розподільники повітря і передачу важеля, наростання гальмівної сили до встановленого значення в різних вагонах відбувається не одночасно. У розрахунках зазвичай цією інерційністю нехтують і вважають, що гальмівна сила миттєво зростає до свого встановленого значення через деякий відрізок часу $t_п$ після повороту крана машиніста в гальмівне положення. Цей часовий відрізок називають часом підготовки гальм до дії. Відстань $S_п$, яке поїзд проходить за час підготовки гальм до дії, називають підготовчим гальмівним шляхом. Відстань $S_д$, яку поїзд проходить з притиснутими гальмівними колодками, називають дійсним гальмівним шляхом.

Таким чином, гальмівний шлях $S_т$ складається з підготовчого і дійсного гальмівних шляхів

Допустивши, що поїзд проходить шлях підготовки гальм до дії з постійною швидкістю, знайдемо його значення

Тут $v_о$ – швидкість потягу в момент початку гальмування, км/год;

$t_п$ – час підготовки гальм до дії, с.

Експериментально встановлено, що час підготовки гальм до дії змінюється залежно від довжини складу. Для розрахунків набувають значень $t_п$, приведені в таблиці 7.1.

Час підготовки гальм Таблиця 7.1.

Враховуючи, що насправді швидкість руху поїзда за час підготовки гальм не залишається незмінною, вводиться поправка, визначувана величиною і знаком ухилу, а також величиною гальмівної сили. З урахуванням поправки час підготовки гальм до дії визначають по формулах:

- для вантажних складів завдовжки 200 осей і менше при автоматичних гальмах і для вантажних локомотивів, які одиночно рухаюся
- для вантажних складів завдовжки більше 200 осей (до 300 осей) при автоматичних гальмах
- для вантажних складів завдовжки більше 300 осей при автоматичних гальмах
- для пасажирських поїздів при пневматичних гальмах і для пасажирських локомотивів, які одиночно рухаються
- для пасажирських поїздів при електропневматичних гальмах

У формулах для обчислення часу підготовки гальм

$i_с$ – приведений ухил ‰;

$\vartheta_р$ – розрахунковий гальмівний коефіцієнт поїзда, прийнятий для випадку екстреного гальмування;

$\varphi_{кр}$ – розрахунковий коефіцієнт тертя гальмівної колодки.

При ручних гальмах приймають $t_п = 60$ с.

При спрацьовуванні автостопа час підготовки автоматичних гальм, розрахований по одній з приведених вище формул, збільшують на 14 с.

Процес гальмування поїзда визначається довжиною гальмівного шляху $s_т$, початковою $v_о$ і кінцевою $v_к$ швидкістю гальмування, ухилом шляху і гальмівними засобами поїзда, визначуваними розрахунковим гальмівним

коефіцієнтом. До знаходження однієї з цих величин по відомим іншим і зводиться вирішення гальмівних завдань, які умовно можна розділити на дві групи.

До першої групи відносять завдання, для яких відомі гальмівні засоби поїзда, а визначити необхідно одну з трьох величин: гальмівний шлях, початкову або кінцеву швидкість гальмування.

До другої групи відносять завдання, для яких гальмівні засоби поїзда слід визначити по відомих значеннях гальмівного шляху, початковій і кінцевій швидкості гальмування.

Розглянемо завдання визначення гальмівного шляху, що відноситься до першої групи гальмівних завдань. Для знаходження довжини гальмівного шляху необхідно вирішити рівняння руху поїзда для режиму гальмування. Спочатку необхідно знайти шлях підготовки гальм, використовуючи формули. Потім, інтегруючи рівняння руху поїзда, знаходять дійсний гальмівний шлях.

При аналітичній інтеграції рівняння руху поїзда весь діапазон зміни швидкості від початкової до кінцевої розбивають на інтервали. Для кожного з інтервалів зміни швидкості знаходять шлях, який проходить поїзд. Сумарне значення дійсного гальмівного шляху

Тут $v_{\text{н}i}, v_{\text{к}i}$ – значення початкової і кінцевої швидкості руху поїзда на даному i – м інтервалі, км/год.;

$r_{\text{ср}i}$ – середнє на i – м інтервалі зміни швидкості значення питомої рівнодіючої сил, прикладених до поїзда, Н/т.

Середнє на i – м інтервалі зміни швидкості значення питомої рівнодіючої сил, прикладених до поїзда, визначають відповідно до виразу